

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Redaktions-Kuratorium:

Geh. Reg.-R. Prof. Dr. H. Landolt,
Vorsitzender.

H. Haensch,
Beisitzer.

Direktor Dr. L. Loewenherz,
Schriftführer.

Redaktion: Dr. A. Westphal in Berlin.

X. Jahrgang.

Januar 1890.

Erstes Heft.

Ueber die Verwendung des Fluorits für optische Zwecke.

Von

Prof. Dr. E. Abbe in Jena.

Von natürlich vorkommenden Mineralien haben bisher nur zwei, Quarz und Kalkspath, in der praktischen Optik regelmässige Verwendung gefunden. Bei diesen beruht aber — abgesehen von der gelegentlichen Benutzung der genannten Mineralien zu Linsen für spektrographische Zwecke (auf welche ihre hohe Durchlässigkeit für violettes und ultra-violettes Licht hinführt) — die Anwendung wesentlich auf der spezifischen Eigenschaft der nicht-tesseralen Krystalle, der Doppelbrechung, und bezweckt also Wirkungen, welche mit einem amorphen Stoffe wie Glas überhaupt nicht zu erzielen sind. Tesseral krystallisirende Mineralien, welche hinsichtlich ihrer optischen Wirkungen dem Glase gleichartig sind, hat man zwar ebenfalls schon den Zwecken der praktischen Optik dienstbar zu machen gesucht, indem Brewster und Pritchard in den 40er Jahren den Diamant und andere Edelsteine wegen ihres ungewöhnlich hohen Brechungsvermögens für Mikroskoplinsen empfohlen und angewandt haben. Die Bemühungen in dieser Richtung haben jedoch der Optik einen bleibenden Gewinn nicht gebracht und dürfen gegenwärtig wohl als abgethan betrachtet werden, nachdem das aus unkorrigirten Linsen gebildete „einfache“ Mikroskop endgiltig auf untergeordnete Dienste zurückgedrängt ist, für die fortschreitende Vervollkommenung des zusammengesetzten Mikroskops aber gänzlich andere Gesichtspunkte für die Beurtheilung der optischen Hilfsmittel in den Vordergrund getreten sind. Denn angesichts der verfeinerten Aufgaben, welche die praktische Optik auf diesem Gebiet in neuerer Zeit vor sich hat, richtet sich die Werthschätzung der zu den Linsenkombinationen verwandten Materialien, von ganz speziellen Punkten abgesehen, keineswegs mehr nach der grösseren oder geringeren Ausgiebigkeit ihrer fundamentalen Wirkung, welche natürlich von der Höhe des Brechungsvermögens abhängt, sondern wesentlich nach dem Grade, in welchem die Eigenschaften dieser Materialien die Beseitigung der unvermeidlichen Nebenwirkungen — sphärische und achromatische Aberrationen — erleichtern und begünstigen.

Unter diesem Gesichtspunkt gewinnt ein Material, welches vom Standpunkt der Bestrebungen Brewsters und Pritchards als sehr unvortheilhaft erscheinen würde, nämlich der Flussspath, gegenwärtig für die praktische Optik ein besonderes Interesse, weil er in Hinsicht auf die Ueberwindung jener Nebenwirkungen ungewöhnlich günstige Bedingungen darbietet. Der Fluorit zeigt ein abnorm niedriges Brechungsvermögen; der Index für Natronlicht ist nur 1,4338, also beträchtlich geringer, als derjenige des Kronglases, und seine Wirksamkeit als Bestandtheil eines Linsensystems ist demnach hinsichtlich des fundamentalen Effektes relativ ungünstig. Bei vielen zusammengesetzten Linsenkombinationen, namentlich den

für das Mikroskop dienenden, erfordert aber die Aufhebung der sphärischen Aberration, dass zwischen aneinandergrenzenden Medien mit gleichem Krümmungsmaass der sich berührenden Grenzflächen eine Differenz der Brechungsindices eingeführt werde, von deren Grösse, unter sonst gleichen Umständen, die kompensatorische Wirkung hinsichtlich der sphärischen Aberration abhängt. Ein je niedrigerer Index nun für das eine Medium zur Verfügung steht, desto grösser wird der Betrag dieser Differenz, und desto ausgiebiger die Kompensationswirkung, welche durch Hinzunahme eines zweiten Mediums von gegebenem Brechungsvermögen zu erzielen ist, oder desto niedriger kann der Index des zweiten Mediums bleiben, wenn umgekehrt eine gewisse gegebene Grösse jener Differenz herbeizuführen ist. Wenn z. B. in einer zu verkittenden zweifachen Linse — etwa als Bestandtheil eines Mikroskopes — für das eine Glied ein gewöhnliches Kronglas vom Index $n_D = 1,52$ dienen muss, die Verhältnisse der Konstruktion aber einen Unterschied des Brechungsvermögens von 0,20 auf beiden Seiten der verkitteten Flächen in dieser Linse behufs Aufhebung der sphärischen Aberration erforderlich machen, so muss mit jenem Kronglas obiger Rücksicht wegen ein anderes Glied vom Index 1,72, also ein sehr schweres, stark zerstreues Flintglas, als zweites Glas verbunden werden. Wäre dagegen das erste Glied eine Linse aus Fluorit, so würde der im Beispiel verlangte Ueberschuss des Brechungsvermögens des zweiten Gliedes mit einem gewöhnlichen Flintglas von 1,63, das aus vielen Gründen viel günstiger ist, schon gegeben sein. Das genannte Mineral gewährt also einen viel freieren Spielraum für die Auswahl solcher Glasarten, die behufs Erzielung ausgiebiger Kompensationswirkungen zur Aufhebung der sphärischen Aberration in Linsensystemen gebraucht werden müssen.

Dieser eine Vortheil, der namentlich für die Konstruktion von Mikroskop-objektiven grosser Apertur an sich schon eine erhebliche Bedeutung besitzt, wird aber wesentlich unterstützt durch die andern optischen Merkmale des Fluorits: eine abnorm niedrige Farbenzerstreuung und ein der Aufhebung des sekundären Spektrums sehr günstiges Verhältniss der partiellen Dispersionsbeträge für die verschiedenen Spektralregionen. Für die drei Wasserstofflinien H_α , H_β , H_γ sind die Differenzen des Brechungsindex:

Material.	$N_\beta - N_\alpha$	$N_\gamma - N_\beta$	N_D	$\frac{\Delta n}{n-1}$	$\frac{N_\gamma - N_\beta}{N_\beta - N_\alpha}$
Fluorit	0,00455	0,00255	1,4338	$\frac{1}{95,4}$	0,561
Gewöhnliches Kalk-Silikat-Kron.	0,00860	0,00487	1,5179	$\frac{1}{60,2}$	0,566
Aluminium-Phosphat-Kron	0,00737	0,00407	1,5159	$\frac{1}{70,0}$	0,552
Borat-Flint	0,01026	0,00582	1,5521	$\frac{1}{53,8}$	0,567

Nimmt man das Intervall von H_α bis H_β (C bis F) als Maass für die mittlere Dispersion (Δn), so zeigt vorstehende Zusammenstellung, dass der Fluorit nicht nur absolut genommen, sondern auch im Verhältniss zum Werthe des $(n-1)$ eine erheblich niedrigere Farbenzerstreuung besitzt als die günstigsten bisher dargestellten Glasflüsse; denn während bei den letzteren die sogenannte relative Dispersion nicht unter $1/70$ herabgeht, ist sie beim Flussspath auf $1/95$ vermindert. Von dem Betrag relativer

Dispersion eines Mediums hängt aber das Krümmungsmaass wesentlich ab, welches eine Sammellinse aus diesem Medium erhalten muss, um in Verbindung mit einer Zerstreuungslinse von gegebener, grösserer relativen Dispersion ein achromatisches System von bestimmter Brennweite zu ergeben. Je kleiner das $\Delta n/(n-1)$ ist, desto flachere Krümmungen reichen, unter sonst gleichen Umständen, zur Achromatisirung für eine gegebene Brennweite aus.

Während also eine einfache, unachromatische Linse aus Flussspath wegen des niedrigen Brechungsvermögens erheblich stärkeres Krümmungsmaass für eine bestimmte Brennweite erfordern würde als eine aus Kronglas, verlangt umgekehrt eine achromatische Linse mit diesem Material stets geringeres Krümmungsmaass als bei Anwendung von Kronglas, vorausgesetzt, dass dasselbe Flintglas zur Kompensation der Farbenzerstreuung angewandt werde.

Endlich zeigen die in der letzten Spalte der obigen Zusammenstellung angeführten Zahlen, dass das Verhältniss der partiellen Dispersionsbeträge in den beiden Spektralbezirken H_α bis H_β und H_β bis H_γ beim Fluorit, trotz seiner sehr niedrigen Dispersion, noch fast denselben Werth besitzt wie bei einem gewöhnlichen Silikat-Kronglas mit der erlangten Dispersion $1/60$, während bei dem hinsichtlich der relativen Dispersion günstigsten Glasfluss, dem Aluminium-Phosphat-Kron, das blaue Ende des Spektrums schon relativ verkürzt sich zeigt, obwohl der Werth des $\Delta n/(n-1)$ bei diesem Glase doch nur auf $1/70$ vermindert ist. Hiermit ist gesagt, dass der Fluorit besonders günstige Bedingungen darbietet für die gleichzeitige Vereinigung von drei Strahlen des Spektrums, d. h. für die Aufhebung der sekundären Farbenabweichung.

Das oben erwähnte Phosphat-Kron z. B. gestattet allerdings, in Verbindung mit dem zuvor angeführten oder einem ähnlichen Borat-Flint, ebenfalls eine direkte Achromatisirung für drei verschiedene Farben (zwar nicht der drei Strahlen H_α , H_β , H_γ , so doch dreier Strahlen innerhalb des weniger brechbaren Theiles des Spektrums) und ermöglicht also die Herstellung einer zweifachen Linse mit nur tertiärem Farbenrest; die Krümmungsmaasse einer derartigen Kombination fallen aber schon ziemlich ungünstig aus, weil die Ziffern der relativen Dispersion $\Delta n/(n-1)$ in diesen beiden Medien — $1/70$ und $1/54$ — nur geringen Unterschied zeigen. Wird aber an Stelle des obigen Kronglases Fluorit eingeführt, so erhält man eine Kombination, welche der Bedingung der Vereinigung von drei verschiedenen Farben genügt und gleichzeitig noch eine sehr beträchtliche Differenz der relativen Dispersionen beider Bestandtheile ($1/95$ und $1/54$) verfügbar lässt.

Diese Differenz bliebe sogar noch reichlich gross, wenn an Stelle des Borat-flint das oben angeführte Kalk-Silikat-Kron gesetzt würde, dessen Dispersion durch das ganze sichtbare System der Dispersion des Fluorits fast streng proportional geht. Mit diesen beiden Medien wäre mithin eine zweifache achromatische Linse von fast absolut vollkommener Farbenvereinigung darzustellen, weil nicht einmal ein tertiäres Spektrum von merklichem Betrag übrig bleiben würde. In Bezug auf alle Bedingungen, welche für eine verfeinerte Konstruktion von Linsenkombinationen in Betracht kommen, — sowohl die sphärische Abweichung in Systemen von grosser Oeffnung, als auch die chromatischen Abweichungen erster und zweiter Ordnung — bietet hiernach der Flussspath günstigere Verhältnisse dar, als irgend ein gegenwärtig der Optik zur Verfügung stehendes Material.

Die Unterlagen für die vorstehenden Schlussfolgerungen sind seit langer Zeit bekannt durch spektrometrische Messungen an Flussspath, welche Stefan im Jahr 1871

veröffentlicht hat¹⁾. Die oben angeführten Zahlen rühren her von Messungen, welche Dr. Riedel in Jena auf Veranlassung des Verfassers, im Jahre 1880 und später, unter Benutzung der Wasserstoff-Linien an verschiedenen Varietäten des Minerals ausgeführt hat; sie stimmen mit den von Stefan gefundenen Werthen innerhalb der Grenzen der Messungsfehler überein, soweit sie die nämlichen Stellen des Spektrums betreffen.

Zum Voraus konnte nicht zweifelhaft sein, dass die charakteristischen optischen Merkmale des Flussspathes, welche die spektrometrischen Bestimmungen darstellen, begründet sein würden in einer spezifischen Wirkung des Fluors, welcher 56% des Fluor-Calciums ausmacht. Es lag also der Gedanke nahe, dass wenn es gelänge, dieses Element in erheblicher Menge in künstliche Schmelzflüsse einzuführen, auch Glasarten zu gewinnen sein würden, welche die vortheilhaften Eigenschaften des Flussspathes, wenigstens zum Theil, in Geltung bringen.

Versuche in dieser Richtung, welche Dr. Schott schon im ersten Stadium seiner auf die Verbesserung des optischen Glases gerichteten Arbeiten, 1881 und in den nächstfolgenden Jahren ausführte, haben jene Annahme in so fern bestätigt, als es durch Anwendung von Fluoriden in der That gelang, in kleinem Maassstab Gläser darzustellen, welche neben einem niedrigen Werth des Brechungsindex auch eine sehr verminderte Dispersion zeigten. Diese Versuche liessen aber zugleich (wie Dr. Schott schon berichtet hat²⁾), die ganz ungewöhnlichen technischen Schwierigkeiten erkennen, welche sich der Darstellung genügend homogener Glasflüsse von solcher Zusammensetzung entgegenstellen und welche zunächst wenigstens als aussichtslos erscheinen lassen mussten, praktisch brauchbare Glasarten von ähnlichen Eigenschaften wie der Flusspath herzustellen.

Durch dieses Ergebniss ist Verfasser damals veranlasst worden, die Anwendung des natürlichen Minerals für Zwecke der praktischen Optik, und zwar zunächst für Mikroskop-Systeme, unter den oben dargelegten Gesichtspunkten ernstlich ins Auge zu fassen, nachdem Vorversuche im Jahre 1881 schon dargethan hatten, dass der Fluorit, trotz seiner wesentlich geringeren Härte, einer ebenso präzisen Formgebung wie das Glas, wenn auch unter einigen Erschwernissen, zugänglich sei.

Unter Benutzung von klaren Krystallen und Spaltstücken, wie sie von Mineralienhändlern damals leicht zu erhalten waren, hat die optische Werkstätte von Carl Zeiss in Jena zuerst im Jahre 1884 Mikroskopobjektive verschiedener Art nach den Rechnungen des Verfassers ausgeführt, bei welchen behufs Erreichung einer vervollkommenen Korrektur der sphärischen und chromatischen Abweichungen einzelne Linsen — eine bis drei in jedem System — an Stelle eines Kronglases aus Fluorit hergestellt sind. Mit der Einführung der unter dem Namen „Apochromate“ bekannt gewordenen neueren Mikroskop-Systeme der Zeiss'schen Werkstätte ist alsdann das Mineral, neben den gleichzeitig in Gebrauch genommenen neuen Glasarten hier in Jena zu ganz regelmässiger Verwendung gelangt, welcher sich auch andere Optiker durch die Nachahmung der Zeiss'schen Konstruktionen sofort angeschlossen haben. — Für die rechnerische und technische Ausarbeitung dieser Konstruktionen hat die Einführung des Flusspaths zu theilweisem Ersatz des Kronglases in der That eine sehr wesentliche Erleichterung

¹⁾ *Wiener Sitzungs-Bericht* 63. II. S. 239. 1871. — ²⁾ *Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses* vom 4. Juni 1888. S. 169.

geboten. Ohne dieses Auskunftsmittel würden bei gleichen Anforderungen an die Verfeinerung der Konstruktion jene Linsensysteme noch komplizirter in der Zusammensetzung und schwieriger in der Ausführung haben werden müssen, als sie ohnehin schon sind.

Angesichts dieser nunmehr schon eingebürgerten Verwendung des Fluorits für das Mikroskop und der Vortheile, welche sein Gebrauch, gemäss den obigen Darlegungen, noch für manche andere Zwecke der praktischen Optik darbieten könnte, wird es von Interesse sein, auch die äusseren Bedingungen seiner Anwendung, nämlich die Möglichkeit der Beschaffung dieses Materials in genügender Menge und genügender Qualität, hier zu erörtern.

Die Nachforschungen, welche Verfasser seit mehreren Jahren angestellt oder veranlasst hat, haben allerdings in Bezug auf diesen Punkt bis jetzt kein sehr befriedigendes Resultat ergeben. Flussspath gehört zwar zu den weitest verbreiteten Mineralien und wird an sehr vielen Orten in durchsichtigen Krystallen gefunden. Die meisten Varietäten sind aber, abgesehen von der Seltenheit genügend grosser klarer Stücke, für optische Verwendung schon deshalb unbrauchbar, weil sie Doppelbrechung — wohl bedingt durch Störungen des regelmässigen Krystallwachstums — in erheblichem Grad zeigen. Indess konnte man bis vor etlichen Jahren im Mineralienhandel noch häufig ziemlich grosse, wasserhelle und zum Theil ganz reine Spaltungsstücke erhalten, die nach verschiedenen, meist Schweizer Fundstellen bezeichnet waren, und es schien deshalb die Annahme gerechtfertigt, dass auch diese von Doppelbrechung freie und in allen Beziehungen sehr günstige Varietät wohl häufig vorkommen und unschwer zu beschaffen sein würde. Genauere Erkundigungen stellten aber bald fest, dass alle Specimina von derartigem Fluorit, die bei Händlern und in Mineraliensammlungen anzutreffen waren, auf ein und dieselbe Lokalität im Schwarzhornstock im Berner Oberland, und zwar auf einen einzigen vor fast 60 Jahren dort zufällig gemachten Fund zurückzuführen seien.

Nach Mittheilungen des Herrn Bergingenieur E. v. Fellenberg in Bern und Nachrichten, welche Verfasser später an Ort und Stelle selbst einziehen konnte, wurde im Jahr 1832 von Aelplern aus Brienzwyl bei Brienz oberhalb der Alp Oltscheren eine Höhle mit Flussspath entdeckt, aus welcher die Finder damals weit über 100 Zentner grosse, meist wasserhelle Krystalle und Spaltungsstücke ausgebeutet haben sollen. Dieses Material ist im Mineralienhandel nach allen Weltgegenden hin verbreitet und nachdem Händler, Sammlungen und Museen genügend versorgt waren, von den Besitzern schliesslich an Chemiker zur Bereitung von Flusssäure verkauft oder als werthloses Gestein fortgeworfen worden. Ein Theil davon soll in den 50er Jahren nach Paris gekommen und angeblich von Optikern zu Linsen und Prismen für Versuche über Wärmestrahlung verarbeitet worden sein. Die muthmaasslich letzten Ueberbleibsel des merkwürdigen Fundes, darunter einige theilweise kopfgrosse, wasserklare Krystalle (Würfel), aus Kellern und Ställen hervorgesucht, hat Verfasser im vorigen Jahr noch von Enkeln der ursprünglichen Finder erstanden und für die Optik gerettet.

Auf Grund von Notizen, die im Berner Museum sich fanden, konnte Herr v. Fellenberg, der den Verfasser in diesen Nachforschungen auf das Freundlichste unterstützt hat, die schon in Vergessenheit gerathene Stelle jenes alten Fundes als den südwestlichen Abhang des Oltschihorns, des Ausläufers des Schwarzhornstockes nach dem Brienzer See hin, mit ziemlicher Sicherheit bestimmen. Nachsuchungen seitens einiger Oberländer Krystallsucher („Strahler“), aufs Gerathewohl

unternommen, wiesen denn auch alsbald in dieser Lokalität mehrfach Flussspath-Vorkommnisse nach, ohne dass jedoch die alte Fundstelle selbst wieder entdeckt oder anderweitig Material von der Beschaffenheit des früheren Fundes erhalten worden wäre. Die Firma Carl Zeiss hat deshalb schliesslich Muthung für das betreffende Terrain genommen und während der Sommerzeit des vorigen und diesen Jahres regelrechte Schürfarbeiten durch eine grössere Anzahl geeigneter Arbeiter unter Leitung eines Beauftragten ausführen lassen. Hierbei wurde nun im Juli 1888 an einer steilen, fast unzugänglichen Felswand in etwa 1900 m Seehöhe die Höhle, aus welcher der Fund von 1832 entstammt, zwar sicher nachgewiesen und mit beträchtlicher Mühe wieder zugänglich gemacht, jedoch als vollständig ausgebeutet befunden. Beim weiteren Absuchen des Bergstockes, der — dem oberen Jura angehörig — durch grossartige Schichtenverwerfung mit zahlreichen Abstürzen, Spalten und Höhlen ausgezeichnet ist, fand sich noch an mehreren Stellen in der Nachbarschaft des alten Fundortes neben halbklaarem Kalkspath, auch Flussspath, zum Theil in grossen Würfeln krystallisirt, hinsichtlich der Reinheit aber nicht entfernt vergleichbar mit der Ausbeute aus der alten Höhle. Von mehreren Zentnern, die gesammelt wurden, waren nur einige Pfund vollkommen klare, für optische Verwendung geeignete Stücke zu erhalten. Im August dieses Jahres ist deshalb die Arbeit eingestellt worden, nachdem alle aufgefundenen Spuren unter ausgiebiger Anwendung von Sprengarbeit soweit verfolgt waren, als sie noch Aussicht auf bessere Ergebnisse bieten konnten. Es scheint nunmehr ausser allem Zweifel, dass die einzige Fundstelle, welche früher Flussspath in grösseren klaren Massen geliefert hat, jetzt vollkommen erschöpft ist.

Die Verwendung des Minerals zu Mikroskoplinsen wird hierdurch nicht in Frage gestellt; denn die relativ kleinen Mengen, welche dieser Zweck erfordert, sind, wenn auch unter der Erschwerniss einer mühsamen Auslese, durch das häufige Vorkommen weniger vollkommenen Materials genügend gesichert. Eine weitere Ausdehnung seiner Anwendung in der Optik aber wird allerdings abhängen von der Entdeckung neuer Fundstellen, welche grössere Krystalle oder spathartige Massen von ähnlicher Reinheit liefern, wie sie seiner Zeit bei dem vereinzeltten Vorkommniss am Oltschihorn gefunden worden sind.

Vielleicht trägt diese Mittheilung dazu bei, das für die Optik werthvolle Mineral zum Gegenstand grösserer Aufmerksamkeit zu machen und möglicher Weise Fundorte desselben ans Licht zu bringen, die bisher unbeachtet geblieben sind.

Die Konstruktion der elektrischen Normalwiderstände der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Von

Dr. K. Feussner.

(Mittheilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Bei den elektrischen Normalwiderständen sind Urnormale und abgeleitete Normale zu unterscheiden. Die Konstruktion der ersteren soll es möglich machen, ihren Widerstandswerth, welcher zweckmässig nahezu gleich 1 *Ohm* gewählt wird, durch eine Ausmessung ihrer geometrischen Dimensionen zu bestimmen. Das *Ohm* ist bekanntlich defnirt durch eine Quecksilbersäule von 106 cm Länge und 1 qmm Querschnitt. Dementsprechend dienen als Urnormale des elektrischen Widerstandes gerade, mit Quecksilber gefüllte Glasrohre, deren Länge so abgeglichen